



**Universidad**  
Zaragoza



Escuela de  
Ingeniería y Arquitectura  
**Universidad** Zaragoza

# Proyecto Fin de Carrera

Cálculo de la huella de carbono de la operativa  
“Carreras, Grupo Logístico” mediante diferentes  
herramientas de cálculo

Autor

Jorge Pascual Fernández

Directores

Jesús A. Royo Sánchez

Javier E. Valencia Méndez

Ingeniería de Diseño y Fabricación

EINA

Ingeniería Industrial

Septiembre 2012

## Cálculo de la huella de carbono de la operativa "Carreras, Grupo Logístico" mediante diferentes herramientas de cálculo

### RESUMEN

En este proyecto se han empleado las diversas soluciones informáticas existentes en el mercado, además de una desarrollada en la Universidad de Zaragoza, Carbon Footprint for Logistics, para calcular la huella de carbono (concepto utilizado para medir las emisiones de gases de efecto invernadero, expresadas en Kg de CO<sub>2</sub>e o Tn de CO<sub>2</sub>e) generada por determinadas operaciones de la empresa Carreras, Grupo Logístico. Dado este contexto, también ha sido un objetivo del proyecto el evaluar la validez del programa desarrollado en la Universidad de Zaragoza, el cual es el primero en su tipo especializado en entornos logísticos, mediante su comparación con las otras aplicaciones empleadas.

Para lograr lo anterior, en primer lugar se han recopilado los diferentes instrumentos que se mencionan en las fuentes consultadas. Estos instrumentos han sido estudiados y se han descartado aquellos que no son útiles para el cálculo de huella de carbono de procesos logísticos, siendo los restantes programas informáticos analizados en mayor profundidad y evaluados según determinados criterios subjetivos establecidos por el autor para este fin.

Cabe mencionar que previo al recuento de la huella de carbono para la empresa Carreras, se ha determinado la validez de Carbon Footprint for Logistics mediante el cálculo de las emisiones de GEI a la atmósfera en un proceso logístico ficticio ideado por el autor, muy similar a uno real.

Por último, se ha llevado a cabo el cálculo de un proceso logístico real, con datos proporcionados por Carreras, Grupo Logístico, pertenecientes a parte de la operativa de la empresa. Para este cálculo se han empleado los tres programas informáticos que obtuvieran una mayor puntuación en la evaluación, entre los que se incluye el realizado por personal de la Universidad de Zaragoza.

Los resultados proporcionados por las tres herramientas han sido similares, con lo que se ha alcanzado el doble objetivo de calcular la huella de carbono de la operativa de Carreras, Grupo Logístico y comprobar la validez del instrumento de estudio, Carbon Footprint for Logistics.

Tras el cálculo, los resultados fueron presentados a la empresa Carreras en diversas reuniones con sus responsables de logística, que quedaron muy satisfechos con el trabajo y comenzaron a contemplar la posibilidad de ampliar el estudio a nuevas áreas de sus operaciones con vistas a reducir su huella de carbono.

En última instancia se han propuesto diferentes ideas de mejora para la herramienta desarrollada por la Universidad de Zaragoza a sus creadores, que han sido tomadas muy en cuenta para el próximo desarrollo de la versión 2.0 de la aplicación.

# Tabla de contenido

<b>Tabla de contenido .....</b>	<b>3</b>
<b>1.- Memoria.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1.- Justificación .....</b>	<b>5</b>
<b>1.2.- Objetivos .....</b>	<b>8</b>
<b>1.3.- Alcance.....</b>	<b>9</b>
<b>1.4.- Herramientas de Cálculo de la Huella de Carbono .....</b>	<b>10</b>
1.4.1.- Transtools.....	11
1.4.2.- Copert Methodology.....	11
1.4.3.- SimaPro .....	12
1.4.4.- Umberto for Carbon Footprint.....	13
1.4.5.- Base de datos Ecoinvent .....	13
1.4.6.- European Platform on Life Cycle Assessment.....	14
1.4.7.- ECOit.....	14
1.4.8.- Air.e .....	15
1.4.9.- Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool.....	15
1.4.10.- Carbon Footprint for Logistics.....	15
<b>1.5.- Metodología .....</b>	<b>16</b>
<b>1.6.- Resultados.....</b>	<b>17</b>
1.6.1.- Evaluación subjetiva de las herramientas.....	17
1.6.2.- Estudio de un caso teórico .....	18
1.6.3.- Cálculo del proceso logístico proporcionado por Carreras, Grupo Logístico.....	20
<b>1.7.- Conclusiones.....</b>	<b>23</b>
<b>2.- Anexo 1. Marco teórico.....</b>	<b>25</b>
<b>2.1.- Cadena de Suministro (CdS).....</b>	<b>25</b>
<b>2.2.- Logística .....</b>	<b>26</b>
<b>2.3.- Terceras Partes Logísticas.....</b>	<b>26</b>
<b>2.4.- Factores contaminantes en la logística.....</b>	<b>28</b>
<b>2.5.- Principales documentos para el cálculo de la Huella de Carbono .....</b>	<b>30</b>

2.5.1.- GHG Protocol [39] .....	30
2.5.2.- PAS 2050:2008 [40] .....	33
2.5.3.- Normas ISO 14000 [41] .....	36
<b>3.- Anexo 2. Análisis de las herramientas estudiadas .....</b>	<b>37</b>
3.1.- Copert .....	37
3.2.- Simapro .....	37
3.3.- Umberto for Carbon Footprint.....	44
3.4.- ECOit .....	47
3.5.- Air.e .....	52
3.6.- Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool.....	57
3.7.- Carbon Footprint for Logistics.....	60
<b>4.- Anexo 3. Información del caso de estudio ficticio .....</b>	<b>64</b>
<b>5.- Anexo 4. Información de parte de la operativa de Carreras, Grupo Logístico .....</b>	<b>77</b>
5.1.- Entregas sin ruta .....	77
5.2.- Directos con ruta .....	82
<b>6.- Anexo 5. Resultados de la huella de carbono de la operativa de Carreras, Grupo Logístico .....</b>	<b>83</b>
6.1.- Resultados Air.e.....	83
6.2.- Resultados ECOit.....	84
6.3.- Resultados Carbon Footprint for Logistics .....	85
<b>7.- Fuentes consultadas .....</b>	<b>87</b>
<b>Tablas y gráficos .....</b>	<b>90</b>
Tablas .....	90
Gráficos.....	91

# 1.- Memoria

## 1.1.- Justificación

La forma actual de vida se caracteriza por la producción en masa y el consumo; esto ha generado problemas ambientales globales, tales como la contaminación atmosférica, el deterioro de la calidad del agua o el calentamiento global, así como problemas de generación de residuos sólidos y de sustancias químicas peligrosas (Rincón y Wellens, 2011 [1]).

El medio ambiente y los temas relacionados con él, como el calentamiento global del planeta Tierra, se han posicionado en el pensamiento y acción de un buen sector de la sociedad mundial. En diferentes idiomas y a través de diversos medios, las organizaciones civiles lanzan campañas a fin de que la humanidad tome conciencia de la importancia que debe tener la protección del medio ambiente y han tenido una penetración tal, que los mismos gobiernos participan activamente en acciones de cuidado y conservación del medio ambiente. (<http://calentamientoglobalclima.org/> [2]).

Para el IPCC (Panel Intergubernamental del Cambio Climático), el término "cambio climático" denota un cambio en el estado del clima identificable a raíz de un cambio en el valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un período prolongado, generalmente cifrado en decenios o en períodos más largos.

La mayor parte del aumento observado en la temperatura mundial desde mediados del siglo XX (Figura 1) se debe muy probablemente al aumento observado en las concentraciones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) antropogénico. Por ello una de las grandes preocupaciones relacionadas con el calentamiento global es reducir las emisiones de gases del tipo invernadero, especialmente el CO<sub>2</sub>, al ambiente. (Alonso et al., 2011 [3]).

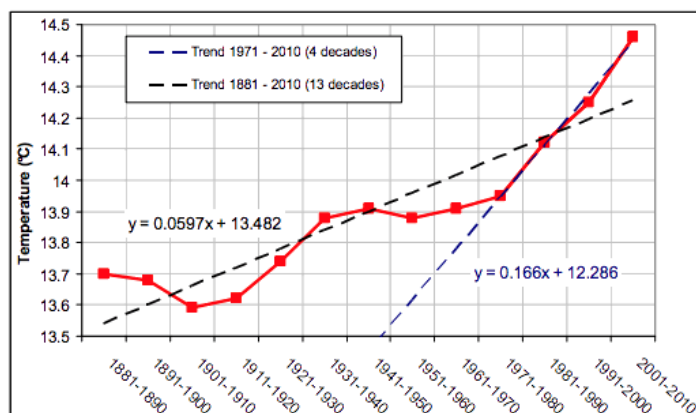
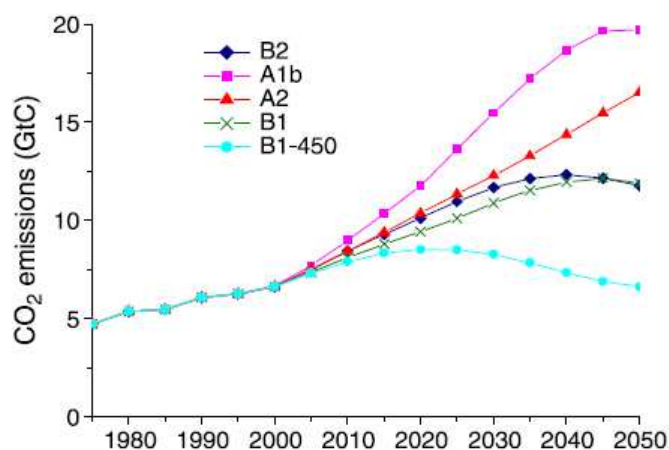


Figura 1: Evolución de la temperatura media mundial 1881-2010.

Hoy día, casi todas las actividades que realizamos (movilidad, alimentación, etc.) y bienes que poseemos y utilizamos implican consumir energía, lo que significa contribuir a las emisiones a la atmósfera. Las actividades logísticas (Anexo 1, 2.2) participan enormemente en las emisiones de GEI a nivel mundial debido principalmente a la quema de combustibles fósiles necesaria para el funcionamiento de los distintos medios de transporte (Anexo 1, 2.4). Bajo este prisma se ha alcanzado un consenso internacional para definir el índice de contaminación: la **HUELLA DE CARBONO**. Ésta representa una medida para la contribución de las organizaciones a ser entidades ambientalmente responsables y un elemento más de concienciación para la asunción entre los ciudadanos de prácticas más sostenibles.

Con esta iniciativa se pretende cuantificar la cantidad de emisiones de GEI, medidas en emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e), que son liberadas a la atmósfera por cualquier tipo de actividad humana, individual o colectiva, o un determinado proceso o producto. Este análisis abarca todas las actividades de su ciclo de vida (desde la adquisición de las materias primas hasta su gestión como residuo). Las emisiones de dióxido de carbono han aumentado de manera drástica desde la revolución industrial de finales del siglo XVIII y la tendencia para los próximos años es seguir creciendo como se puede ver en la Figura 2, en la que se reflejan distintas previsiones desde la más optimista (azul claro) a la más pesimista (fucsia).

La medición de la huella de carbono de un producto crea verdaderos beneficios para las organizaciones al permitir definir mejores objetivos, políticas de reducción de emisiones más efectivas e iniciativas de ahorros de coste mejor dirigidas; todo ello consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos para la reducción de emisiones. (<http://www.huellacarbono.es/apartado/general/huella-de-carbono.html> [4]).



**Figura 2:** Estimaciones de emisiones de CO<sub>2</sub> hasta 2050.

Los problemas medioambientales pueden afectar a muchas decisiones logísticas a través de la cadena de suministro (Anexo 1, 2.1) como por ejemplo la localización de las fábricas, abastecimiento de materias primas, selección modal y planificación del transporte (Wu y Dunn, 1995 [5]). Un uso eficiente de los recursos del transporte, tal como la selección de los tipos de vehículo, la programación de las entregas, la consolidación de los flujos de mercancías y la selección de tipo de combustible, entre otros, puede ayudar a mitigar estos problemas. (Ubeda et al., 2011 [6])

Para el apoyo de dichos esfuerzos se han desarrollado diversas herramientas informáticas, las cuales procuran cuantificar las emisiones de GEI a través de la huella de carbono. Sin embargo, por lo recientes que resultan estas iniciativas, es natural que aún falte mucho trabajo por hacer, principalmente aumentar el grado de especialización de los mismos. Es por ello que no existe un software especializado en el cálculo de la huella de carbono en entornos logísticos.

Dado lo anterior, el presente documento llevará a cabo el análisis y comparación de los softwares existentes con el objetivo de determinar cuál de ellos resulta más apropiado de emplear en dichos entornos. Así mismo, se habrá de evaluar sus características, su facilidad de manejo y la fiabilidad de los resultados. Se incluirá en el análisis "Carbon Footprint for Logistics", un software que se está desarrollando actualmente por personal de la Universidad de Zaragoza, pionero a nivel mundial en el cálculo de la huella de carbono en entornos logísticos, particularmente en 3PLs (Anexo 1, 2.3). Este análisis se realizará debido a que la logística es la principal operación subcontratada por las empresas y al alto grado de impacto que ésta tiene en la eficiencia y en el coste de la cadena de suministro.

---

## 1.2.- Objetivos

---

Tras lo expuesto en la justificación, la meta de este trabajo es encontrar aquellas herramientas que proporcionen resultados fiables al realizar el cálculo de la huella de carbono en el ámbito de la logística; para después aplicarlos al estudio de la operativa de "Carreras, Grupo Logístico". Al mismo tiempo, se validará un programa desarrollado por la Universidad de Zaragoza, el cual busca proporcionar buenas soluciones de manera rápida y sencilla gracias a su especialización en procesos logísticos.

Los objetivos a cumplir para alcanzar dicha meta son los siguientes:

1. Búsqueda y recopilación de las herramientas informáticas existentes.
2. Establecimiento de cuáles de ellas resultan propicias para entornos logísticos.
3. Realización del estudio comparativo de las herramientas existentes para determinar ventajas y desventajas de cada una de ellas mediante el estudio de un caso teórico.
4. Análisis de la información proporcionada por la empresa "Carreras, Grupo Logístico" para el posterior análisis de la misma.
5. Medición de la huella para la empresa mediante el uso de los softwares más valorados.
6. Contraste de la herramienta creada por la Universidad de Zaragoza con los instrumentos existentes analizados.
7. Propuestas de mejora para el programa creado por la Universidad de Zaragoza.



---

## 1.3.- Alcance

---

Con la finalidad de cumplir los objetivos propuestos para este proyecto se pueden definir los límites de lo que se incluirá en el trabajo. Se llevará a cabo una revisión de las distintas herramientas existentes para el cálculo de la huella de carbono, para posteriormente analizarlas, valorarlas y compararlas con el fin de validar el programa "Carbon Footprint for Logistics" desarrollado por personal de la Universidad de Zaragoza. De comprobarse la eficacia de este software, se usará, junto con los más valorados, para calcular la huella de carbono de parte de la operativa de la empresa "Carreras, Grupo Logístico".

Con los resultados obtenidos de estos análisis se podrá llegar a una conclusión acerca de la utilidad de la herramienta propuesta a la hora de calcular la huella de carbono en entornos logísticos de una forma sencilla y asegurando resultados fiables.

---

## 1.4.- Herramientas de Cálculo de la Huella de Carbono

---

Entre las herramientas que se pueden encontrar para llevar a cabo el cálculo de la huella de carbono de un producto, proceso u organización se cuenta, de acuerdo con AENOR en la presentación del Primer Encuentro de la Cátedra Carreras de Sostenibilidad e Innovación Logística realizada en la Universidad de Zaragoza el 26 de enero de 2012 "La huella de carbono como ventaja competitiva en el futuro", principalmente con los siguientes:

- Transtools.
- Copert Methodology.
- SimaPro.
- Umberto for Carbon Footprint.
- Base de datos Ecoinvent.
- European Platform on Life Cycle Assessment.
- ECOit.
- Air.e.
- Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool.

Además se dispone de la herramienta de estudio de este proyecto desarrollada por personal de la Universidad de Zaragoza:

- Carbon Footprint for Logistics.

Mientras que algunas herramientas para la medición de la huella de carbono realizan de forma automática los cálculos solicitados, otras requieren que se les ingresen previamente algunos factores que empeará el programa para ejecutarse.

Las etapas que se deben seguir para el cálculo de emisiones son las siguientes:

1. Determinación y selección de datos.
2. Selección de la herramienta de cálculo.
3. Conversión de datos primarios y secundarios a emisiones de GEI.
4. Transformación a unas mismas unidades: CO<sub>2</sub>e.
5. Separación de CO<sub>2</sub> asociado al producto.
6. Relativización de datos a la Unidad Funcional (producto).
7. Realización del Informe de huella de carbono.

Cada una de las herramientas existentes para el cálculo de la huella de carbono fueron creadas en momentos y bajo circunstancias similares pero diferentes, lo cual marca sus funciones y características, que son las siguientes:

### **1.4.1.- Transtools**

---

Transtools, "TOOLS for TRANSport forecasting and scenario testing" (herramientas para la previsión de transporte y evaluación de escenarios), es un modelo de redes de transporte europeo que cubre tanto pasajeros como mercancías, así como el transporte intermodal. Ha sido desarrollado en proyectos de colaboración financiados por el Instituto de la Comisión Europea, Centro Común de Investigación de Estudios de Prospectiva Tecnológica (IPTS) y la DG TREN.

Los diferentes servicios de la Comisión que abordan las cuestiones de transporte han acordado utilizar Transtools como el principal modelo para el análisis de la política y han nombrado IPTS como Centro de Referencia del modelo.

Este modelo combina las técnicas avanzadas de modelización de la generación del transporte y asignación, la actividad económica, el comercio, la logística, el desarrollo regional y los impactos ambientales. El objetivo ha sido desarrollar un modelo europeo de transporte basado en la red a partir del estado de la técnica y las ideas consolidadas en la experiencia de modelado de los miembros del consorcio.

El modelo desarrollado permite al usuario editar, manejar e ilustrar los resultados de una misma plataforma, lo que hace que sea mucho más fácil de ilustrar, analizar y procesar los datos que en la mayoría de los modelos de transporte.

### **1.4.2.- Copert Methodology**

---

Copert 3 y su última versión Copert 4 son herramientas de software que se utilizan en todo el mundo para el cálculo de los contaminantes del aire y las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes del transporte por carretera. El desarrollo de Copert está coordinado por la Agencia Europea del Medio Ambiente (AEMA), en el marco de las actividades del Centro Temático Europeo para la Contaminación del Aire y Mitigación del Cambio Climático. El Centro Común de Investigación de la Comisión Europea gestiona el desarrollo científico del modelo. Copert ha sido desarrollado para la preparación oficial del inventario de emisiones del transporte por carretera en los países miembros de la AEMA.

Esta metodología es parte de la guía de inventario de contaminantes del aire de la EMEP / AEMA para el cálculo de las emisiones de gases a la atmósfera y es compatible con las Directrices de 2006 del IPCC para el cálculo de las emisiones de GEI.

El uso de una herramienta de software para calcular las emisiones del transporte por carretera permite un proceso transparente y estandarizado, por lo tanto, los datos son consistentes y comparables, y la recogida y presentación de informes de emisiones de procedimiento son de conformidad con los requisitos de los convenios y protocolos internacionales y la legislación de la UE. Copert estima las emisiones de todos los principales contaminantes atmosféricos (CO, NO<sub>x</sub>, COV, PM, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, metales pesados, etc.) producidos por diferentes categorías de vehículos (turismos, vehículos comerciales ligeros, camiones pesados, autobuses, motocicletas, y ciclomotores) así como las emisiones de gases de efecto invernadero (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>). También proporciona información de NO/NO<sub>2</sub>, carbono elemental y la materia orgánica de compuestos orgánicos volátiles distintos del metano y el PM, incluidos los hidrocarburos aromáticos policíclicos y los contaminantes orgánicos persistentes.

Las emisiones totales se calculan como un producto de los datos de actividad proporcionados por el usuario y la velocidad de los factores dependientes de emisión calculada por el software. La aplicación de software de la metodología Copert ha sido desarrollada para la elaboración de inventarios nacionales (es decir, NUTS 0) sobre una base anual.

### **1.4.3.- SimaPro**

---

Es probablemente el líder mundial en softwares de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y ha sido empleado en aplicaciones industriales, institutos de investigación y por consultores en más de 80 países. Es un programa desarrollado por la empresa holandesa PRé Consultants, fundada en 1990, que ha estado al frente del pensamiento de ciclo de vida desde hace más de 20 años. Proporciona servicios de consultoría, además de la herramienta informática SimaPro, para integrar la sostenibilidad en los procedimientos de desarrollo de productos de otras empresas con el objetivo de crear crecimiento del negocio y valor.

SimaPro permite modelar productos y sistemas desde una perspectiva de ciclo de vida. El usuario construye complejos modelos de una forma sistemática y transparente usando las características únicas de SimaPro, como sus parámetros que simplifican el trabajo y aportan flexibilidad al cambiar valores en el modelo fácilmente y el análisis Monte Carlo, que permite calcular la incertidumbre en los resultados de inventario dando una indicación de qué seguros, completos y representativos son los resultados. El programa viene completamente integrado con la bien conocida base de datos Ecoinvent y una variedad de 17 diferentes métodos de análisis de impacto.

Está disponible en versión profesional y educativa. La versión profesional se puede utilizar en modo multiusuario, lo que permite a una persona y a su equipo trabajar en los mismos proyectos y bases de datos simultáneamente y desde diferentes localizaciones.

#### **1.4.4.- Umberto for Carbon Footprint**

---

La empresa Ifu Hamburg, fundada en Hamburgo en 1992, es especialista en desarrollo de programas de flujo de materiales y soluciones de bases de datos desde un contexto medioambiental. Colabora con varias compañías internacionales para estar cerca de los mercados y sus cambios específicos, hecho de gran importancia debido a la existencia de las cadenas de suministro globales.

Lanzó la primera versión de su herramienta Umberto para ACV en 1994, y tras varias actualizaciones, llegando hasta el desarrollo de Umberto 5.5, creó Umberto for Carbon Footprint como respuesta a la creciente necesidad de una herramienta que permita identificar las posibilidades de reducción de emisiones de GEI en 2011. Se trata de una variación del software Umberto especializada en la realización de cálculos de huella de carbono relacionada con productos, localizaciones o compañías de acuerdo al PAS 2050 (Anexo 1, 2.5.2), GHG Protocol (Anexo 1, 2.5.1) y pronto a la norma ISO 14067 (Anexo 1, 2.5.3). Incluye unos 4000 materiales con valores GWP de la base Ecoinvent y los datos GWP de Columbia, además de la base de datos BioGrace con valores GWP de biocombustibles.

#### **1.4.5.- Base de datos Ecoinvent**

---

Creado en 1997, el Centro Ecoinvent es un Centro de Competencia del Instituto Federal Suizo de Tecnología en Zurich (ETH Zurich) y Lausana (EPF Lausanne), el Instituto Paul Scherrer (PSI), los Laboratorios Federales Suizos para Prueba e Investigación de Materiales (EMPA), y la Estación Federal de Investigación Suiza Agroscope Reckenholz-Tänikon (ART).

El Centro de Ecoinvent es una entidad sin fines de lucro. En el plano técnico, se le ha confiado desde el año 2000 el conocimiento experto y el saber hacer de la compañía alemana IFU Hamburg GmbH, compañía que desarrolla y opera el software Ecoinvet.

Se trata del proveedor líder mundial de Inventarios de Ciclo de Vida (LCI) consistentes y transparentes. Sus datos, incluidos en la base de datos "ecoinvent v2.2", son de conocida calidad, y ofrece valores y servicios con una base científica, industrial e internacional de Análisis del Ciclo de Vida y Gestión del Ciclo de Vida (LCM) que han sido compilados por institutos de investigación de reconocimiento mundial y consultores de ACV.

La base de datos ecoinvent v2.2:

- Contiene más de 4000 bases de datos de LCI internacionales e industriales en suministro de energía, extracción de recursos, suministro de materiales, productos químicos, metales, materiales de construcción y de embalaje, agricultura, servicios de gestión de gastos, biocombustibles y biomateriales, y servicios de transporte, así como tratamiento de residuos.
- Es usado por unos 4500 usuarios en más de 40 países y está incluido en las herramientas de ACV líderes; así como en varias herramientas de ecodiseño para construcción, gestión de gastos o diseño de productos.
- Es una solución para las necesidades de datos en Política de Productos Integrados (IPP), Declaración de Productos Medioambientales (EPD), Evaluación del Ciclo de Vida (LCA), Gestión del Ciclo de Vida (LCM) y Diseño para el Medioambiente (DfE).

#### **1.4.6.- European Platform on Life Cycle Assessment**

---

No se trata de una verdadera herramienta, sino que esta plataforma es un proyecto creado por la Comisión Europea de análisis de ciclo de vida. Su objetivo es promocionar el pensamiento de ciclo de vida en negocios y política en la Unión Europea centrándose en subrayar necesidades de datos y metodología. La plataforma está planeada para proporcionar calidad asegurada, información basada en ciclos de vida de productos clave y servicios como metodologías consensuadas.

#### **1.4.7.- ECOit**

---

Al igual que SimaPro, esta herramienta ha sido creada por PRé Consultants, en principio como una expansión o complemento para el primero. ECOit está pensada para diseñadores que quieren trabajar con el medioambiente en mente y necesitan herramientas simples para ayudarles a elegir materiales y diseños en sus ocupaciones diarias. Permite incluir la sostenibilidad en el trabajo sin un conocimiento medioambiental detallado y modelar un producto complejo y su ciclo de vida en pocos minutos. Además calcula la carga medioambiental y muestra qué partes del ciclo de vida de los productos contribuyen más a las emisiones de gases de efecto invernadero.

---

### **1.4.8.- Air.e**

---

Esta herramienta ha sido desarrollada por SolidForest, una empresa centrada en el desarrollo de soluciones informáticas y consultoría técnica con vocación de empresa de tecnología verde, entre otras herramientas con distintas aplicaciones. Están especializados en entornos heterogéneos para los sectores Medioambiental, Industrial, Energético, Audiovisual y Servicios.

Air.e es un programa informático destinado al cálculo profesional de la huella de carbono que permite a los usuarios analizar el ciclo de vida de productos, servicios, eventos o incluso entidades completas siguiendo las normas PAS 2050, GHG Protocol y próximamente la norma internacional ISO 14067.

### **1.4.9.- Mobile Combustion GHG Emissions Calculation Tool**

---

Provista directamente por la página web del mismo GHG Protocol, esta herramienta se aplica al estudio de emisiones directas (fuentes de emisión controladas por el usuario) de transportes o fuentes móviles. Además, se encuentran disponibles otras aplicaciones destinadas al cálculo de emisiones de fuentes estacionarias (alcance 1), indirectas (alcance 2) y otras emisiones (alcance 3), todo ello completado por varios documentos de guía.

### **1.4.10.- Carbon Footprint for Logistics**

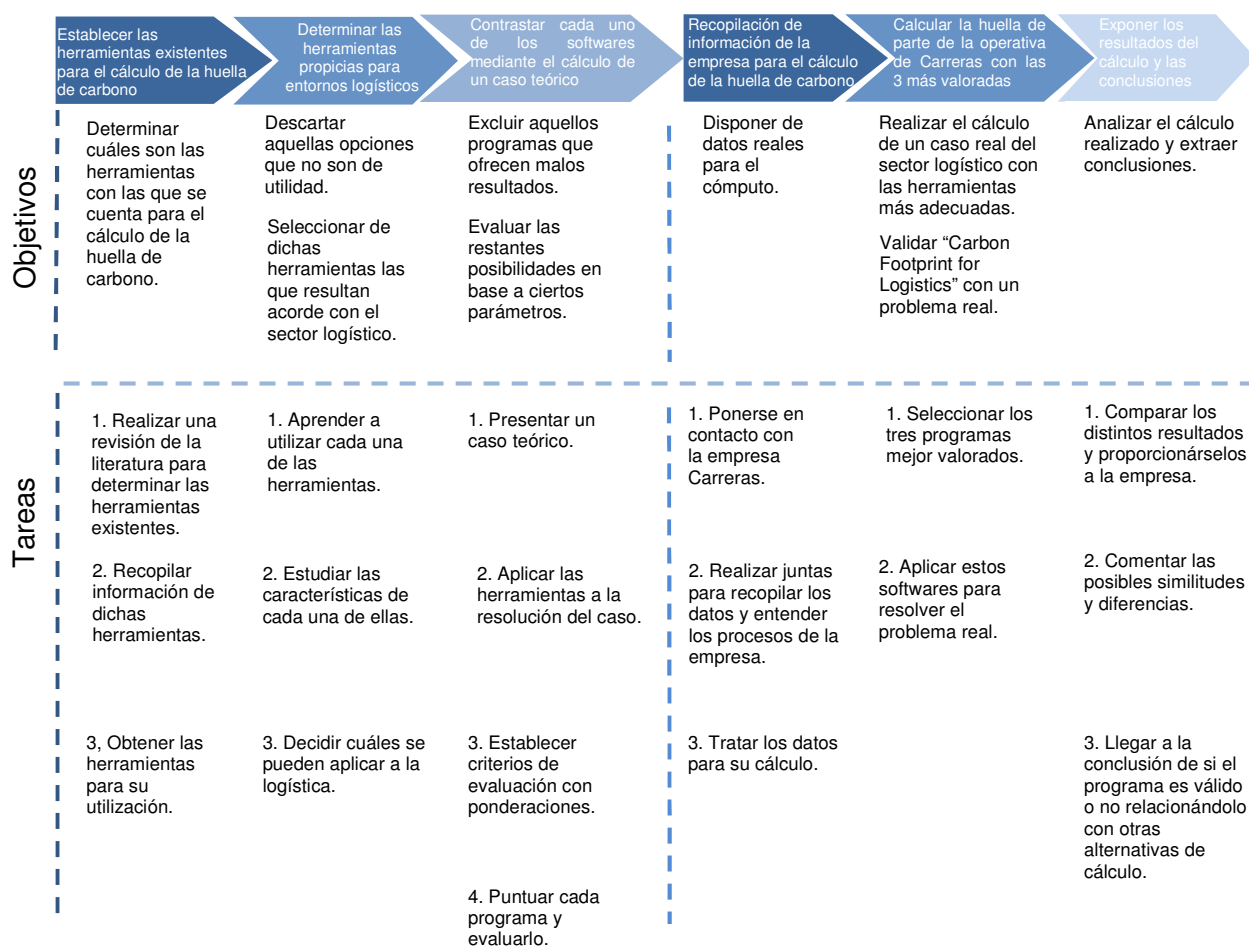
---

El programa Carbon Footprint for Logistics es una herramienta informática desarrollada en lenguaje Java que está pensada exclusivamente para el cálculo de la huella de carbono en entornos logísticos.

El software surge del trabajo de un equipo de investigación de la Universidad de Zaragoza en el año 2012, el cual procura dar respuesta a la necesidad manifiesta e incremental por parte de las empresas de contar con una herramienta fiable y de fácil utilización en el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero en entornos logísticos.

## 1.5.- Metodología

La metodología que se habrá de seguir para el desarrollo del presente documento es la que se ilustra a continuación en la Figura 3:



**Figura 3:** Metodología a emplear.



## 1.6.- Resultados

### 1.6.1.- Evaluación subjetiva de las herramientas

Uno de los principales objetivos de este proyecto es el de validar la herramienta desarrollada por el personal de la Universidad de Zaragoza, Carbon Footprint for Logistics. Para ello, y en primer lugar, se ha realizado un estudio y evaluación subjetiva de cada una de las herramientas antes mencionadas que puede verse en el Anexo 2. De este análisis han sido excluidas tres herramientas: Transtools, por no encontrarse disponible de manera gratuita; la base de datos Ecoinvent, por estar incluida en varios de los programas revisados y la European Platform on Life Cycle Assessment, por no tratarse de una verdadera herramienta.

Los resultados de la evaluación de las 7 aplicaciones son los mostrados en la Tabla 1:

Programas/ Parámetros	Rapidez (10%)	Visual (5%)	Fácil de aprender (20%)	Aplicable al sector (30%)	Claridad lenguaje (10%)	Varias lenguas (10%)	Base de datos (15%)	Puntuación final (100%)
Copert	2	2	2	1	1	1	1	1,35
SimaPro	3	4	3	5	3	1	3	3,45
Umberto	2	3	2	5	2	1	4	3,15
ECOit	4	5	4	5	4	5	2	4,15
Air.e	4	4	4	5	4	5	3	4,25
Carbon Footprint	5	4	5	5	5	1	3	4,25
Mobile Combustión	4	3	5	5	4	1	2	3,85

**Tabla 1:** Valoraciones, puntuación final y resultados de cálculo de cada herramienta.

En la tabla aparecen reflejados los distintos programas y su valoración, en una escala del 1 al 5 para diferentes parámetros, que sirve para compararlos entre sí. Junto a estos parámetros aparece un porcentaje, se trata de la ponderación que se ha asignado a cada uno en función de su importancia. Seguidamente se puede ver la puntuación final que servirá para distinguir las herramientas más adecuadas.

Como se puede observar, se ha proporcionado una puntuación más elevada al parámetro "Aplicable al sector" ya que es la característica más importante que se está buscando. Esto hace que Copert Methodology obtenga una puntuación final muy inferior a los demás debido a que esta

herramienta está diseñada para un cálculo a mayor escala, a nivel nacional, requiriendo datos medios de temperaturas del país, habitantes, velocidades en las distintas vías, etc.

La segunda ponderación más alta ha sido otorgada a "Fácil de aprender" ya que se considera que la herramienta debe ser tanto de sencillo aprendizaje como de rápida utilización, sin pérdidas largas de tiempo en llevar a cabo acciones complejas que deberían ser simples.

El resto de parámetros utilizados han recibido ponderaciones menores y más igualadas, evaluando otros factores que se han considerado importantes a la hora de comparar los programas. A modo de representar la estética se ha incluido con sólo un 5% de ponderación el parámetro "Visual".

### 1.6.2.- Estudio de un caso teórico

Lógicamente, lo crucial a la hora de validar Carbon Footprint for Logistics es que aporte unos resultados fiables y precisos. Para comprobar este aspecto del programa, se ha llevado a cabo un estudio de un proceso logístico ficticio a lo largo de un año creado para tal fin (Anexo 3).

La Tabla 2 muestra los valores mensuales, dados en TKm, del caso teórico. Estos datos son consecuencia del producto de los Km recorridos por la carga transportada.

Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
TKm	92186,1	140268,5	197963,0	159585,7	137576,3	147606,7
Mes	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
TKm	134331,3	103878,7	114214,6	141765,9	181797,7	162351,8

**Tabla 2:** Valores del caso teórico en TKm.

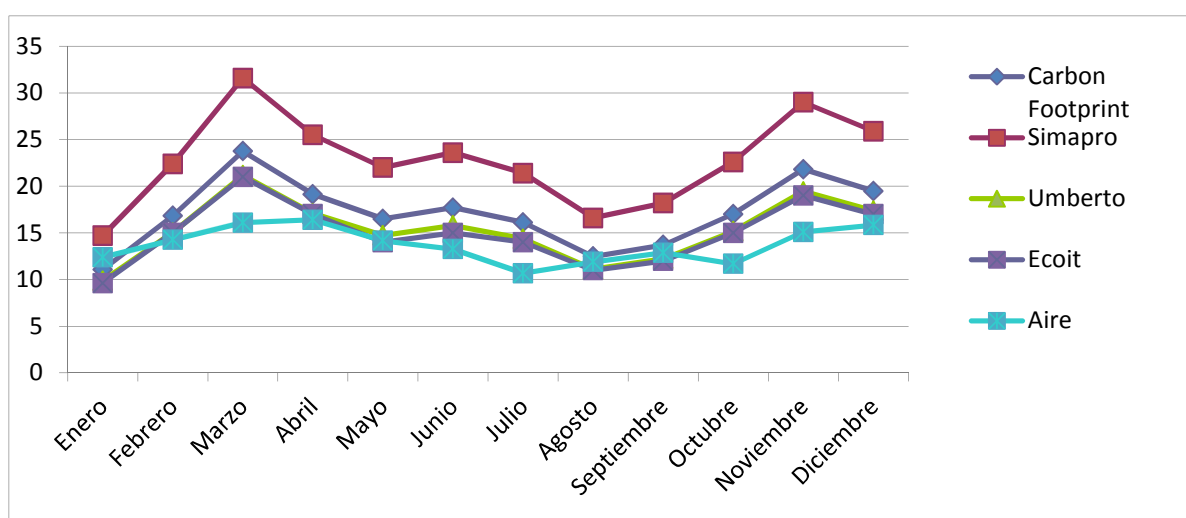
La huella de carbono calculada por cada programa para estos datos de entrada y dada en toneladas de CO<sub>2</sub>e es la que muestra la Tabla 3:

Programas/Parámetros	CO <sub>2</sub> equivalente (Tm)
Copert	No aplicable al sector
SimaPro	273
Umberto	183,45
ECOit	178
Air.e	164,56
Carbon Footprint	134,83
Mobile Combustion	Funcionamiento incorrecto

**Tabla 3:** Resultados del caso teórico en toneladas de CO<sub>2</sub>e

La Figura 4 representa la tendencia de cada software que, como se ve claramente, es similar para todos ellos. Este hecho pone de manifiesto que los programas siguen una cierta linealidad y proporcionan resultados acertados y parecidos. Se observa como Carbon Footprint for Logistics, el software de estudio de este proyecto, se encuentra en el mismo rango que los demás, hecho del que se deduce que posee gran validez en cuanto a resultados.

La diferencia observable entre los valores finales se puede deber bien al uso de diferentes factores de conversión GWP, a diferentes ratios de emisiones por TKm recorrido o a la inclusión de mayor o menor número de agentes contaminantes (por ejemplo Simapro considera las emisiones producidas por el proceso de refinado del Diesel que utilizan los camiones).



**Figura 4:** Tendencia de cada herramienta a lo largo del año ficticio.

El software proporcionado por GHG Protocol, Mobil Combustion GHG Emission Calculation Tool, ha sido desechado a pesar de estar bien valorado. Esto es debido a que se ha considerado que su funcionamiento no es el adecuado, al observar que los resultados proporcionados por esta aplicación carecen de lógica puesto que difieren en varios órdenes de magnitud de los valores del resto de programas.

### 1.6.3.- Cálculo del proceso logístico proporcionado por Carreras, Grupo Logístico

Una vez se ha evaluado los distintos softwares y se ha realizado un cálculo teórico para comprobar la validez de Carbon Footprint for Logistics, se ha alcanzado la conclusión de que, efectivamente, la herramienta es válida. Concretamente, las aplicaciones más aptas para entornos logísticos son "Air.e", "ECOit" y "Carbon Footprint for Logistics". Por tanto se han empleado estos 3 programas, que han obtenido una mayor calificación, para llevar a cabo el cálculo de una operativa real de "Carreras, Grupo Logístico".

Los datos proporcionados por esta empresa (Anexo 4) a efecto de realizar el presente proyecto corresponden a una parte de las operaciones de la organización. Después de tratar esta información de la misma manera que se ha hecho anteriormente con la correspondiente al caso teórico se obtienen los valores de la Tabla 4.

<b>ENTREGAS SIN RUTA</b>				
<b>TKm Directo (Camiones 40 T)</b>	<b>TKm (Barco)</b>	<b>TKm Arrastre (Camiones 40 T)</b>	<b>TKm Última milla (Camiones 7,5 T)</b>	<b>TKm Última milla (Camiones 12 T)</b>
473676,7	3278,4	110627,3	9554107,4	11375320,5

<b>DIRECTOS CON RUTA</b>		
<b>TKm Tramo 1 (Camión 40 T)</b>	<b>TKm Tramo 2 (Camión 40 T)</b>	<b>TKm Tramo 2 (Camión 40 T)</b>
666523226,6	67417157,6	9948354,5

**Tabla 4:** Datos proporcionados por Carreras tras ser tratados.

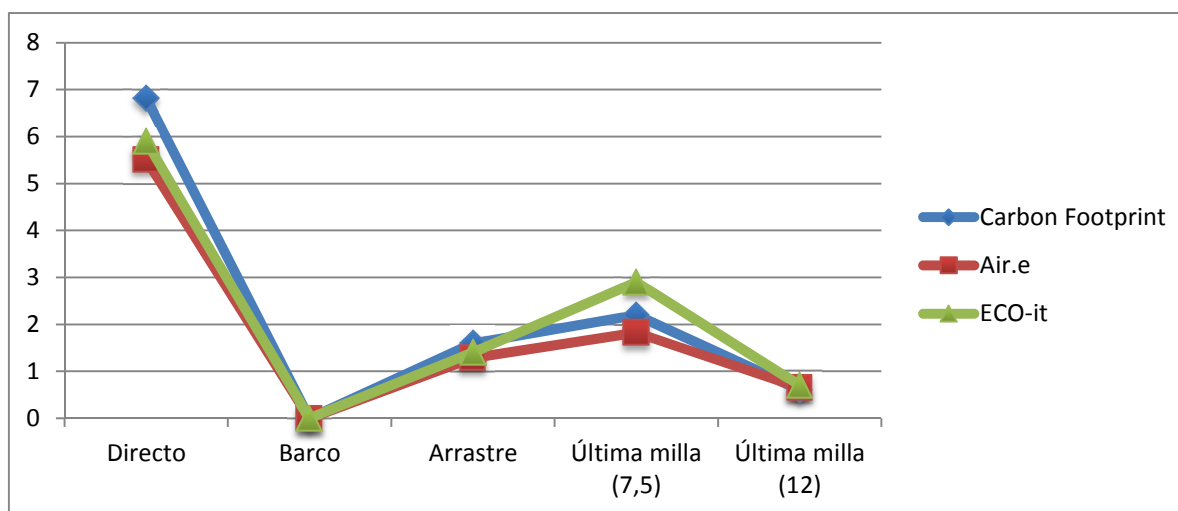
Una vez introducidos estos valores en las tres herramientas informáticas (Anexo 5), se obtienen los resultados correspondientes al cálculo de la huella de carbono de esta parte de las operaciones de Carreras, Grupo Logístico que se resumen en la Tabla 5. En ella aparecen reflejadas las emisiones de CO<sub>2</sub>e de cada división de esta operativa (Entregas sin ruta y Directos con ruta) y de cada uno de los transportes que componen estas secciones.

Programas/ Emisiones (CO <sub>2</sub> e)	Directo	Barco	Arrastre	Última milla (7,5)	Última milla (12)	Total Entregas sin ruta
Carbon Footprint	6,821	0,0003	1,593	1,055	0,602	<b>10,0713</b>
Air.e	5,521	0,001	1,289	1,822	0,65	<b>9,283</b>
ECO-it	5,9	0,0014	1,4	2,9	0,7	<b>10,9014</b>

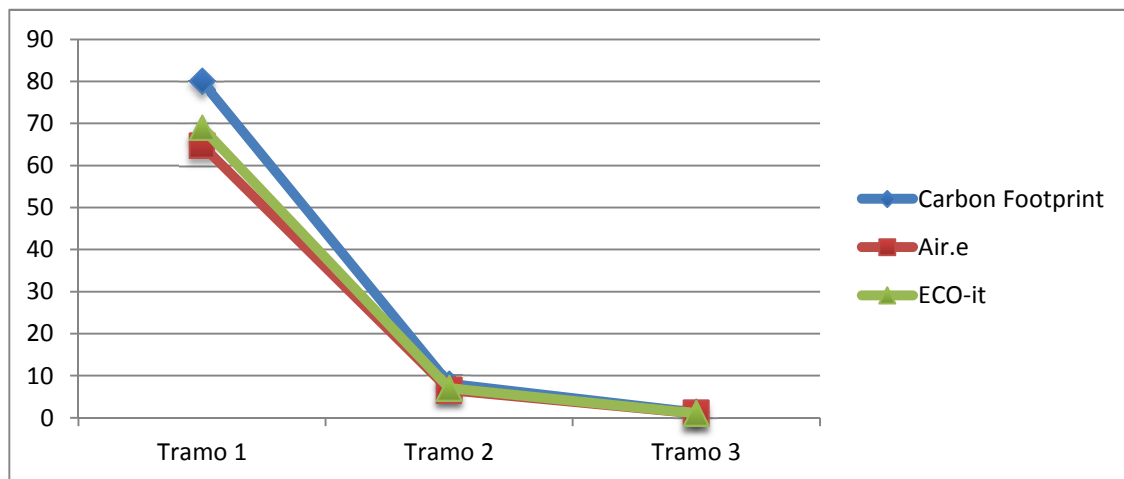
Programas/ Emisiones (CO <sub>2</sub> e)	Tramo 1	Tramo 2	Tramo 3	Total Directos con ruta
Carbon Footprint	79,983	8,09	1,194	<b>89,267</b>
Air.e	64,74	6,548	0,966	<b>72,254</b>
ECO-it	69	7	1	<b>77</b>

**Tabla 5:** Resultados del cálculo de huella de carbono de los datos de Carreras.

Tal y como se había comprobado gracias al cálculo del caso teórico, los tres softwares proporcionan unos resultados muy semejantes (Figuras 5 y 6). Como se ha comentado antes, las divergencias son comprensibles, principalmente debido a que cada programador ha utilizado estimaciones y aproximaciones de las emisiones de gases de efecto invernadero de cada transporte ligeramente diferentes.



**Figura 5:** Tendencia de cada herramienta para Entregas sin ruta.



**Figura 6:** Tendencia de cada herramienta para Directos con ruta.

---

## 1.7.- Conclusiones

---

Se ha llevado a cabo una revisión de la literatura relacionada con logística, medioambiente y huella de carbono. Gracias a ello se han podido extraer un buen número de herramientas útiles en el cálculo de la huella de carbono; herramientas que han sido analizadas, estudiando su posible uso como instrumentos y si es factible su empleo en entornos logísticos, haciendo así un primer filtro.

En segundo lugar, se ha utilizado cada uno de los restantes programas informáticos con el objetivo de estudiarlos en más profundidad y tener el conocimiento propicio para su evaluación. Se ha visto cómo Copert no es un software útil para calcular la huella de carbono de un proceso logístico. El software Mobil Combustion GHG Emission Calculation Tool, del GHG Protocol, dispone de una interfaz sencilla y su aprendizaje y utilización son rápidos; pero sus resultados se alejan enormemente de la media, razón por la que ha sido desechado.

Tanto Umberto for Carbon Footprint como SimaPro son herramientas muy completas y complejas, diseñadas para realizar el ACV de cualquier producto. Por tanto, incluyen materiales de todo tipo y procesos entre los que se incluyen los logísticos, pero suponen un excesivo esfuerzo en el aprendizaje y en la utilización. Los programas ECOit y Air.e están pensados para el ACV, pero han obtenido una valoración superior por su menor complejidad y su entorno más agradable e intuitivo.

Carbon Footprint for Logistics ha resultado entre las mejor valoradas ya que su diseño sencillo y agradable, sin complejos menús y escasos pasos, hacen posible un aprendizaje y uso veloz. Además la solución que proporciona se encuentra dentro del rango de los demás y muy cercana a la media, con una desviación de apenas un 2,5%, lo cuál es una clara muestra de la validez de esta herramienta a la hora de realizar cálculos precisos de la huella de carbono de procesos logísticos.

Habiendo comprobado la validez de la herramienta diseñada por personal de la Universidad de Zaragoza, se ha llevado a cabo el cálculo de la huella de carbono de una parte de las operaciones de Carreras, Grupo Logístico. Este cómputo ha sido llevado a cabo utilizando las tres herramientas mejor valoradas en la evaluación, entre las que se incluye el programa de estudio, Carbon Footprint for Logistics, llegando a la conclusión de que los resultados son perfectamente válidos además de ser alcanzados de manera rápida y sencilla.

Finalmente, como propuestas de mejora para Carbon Footprint for Logistics, se aconseja la traducción del programa a otros idiomas, especialmente al inglés, por ser el más internacional. También sería muy interesante la posibilidad de guardar los cálculos realizados y exportarlos a una hoja Excel a medida que se realizan para disponer de ellos a posteriori. Estos cambios, junto con una lista de vehículos más amplia, convertirían a ésta, en la herramienta ideal para el cálculo de huella de carbono en entornos logísticos.

---

## 1.8.- Referencias

---

Ver archivo "Anexos".